

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
6. Mai 2005 (06.05.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/041315 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 41/083**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE2004/001742**

(22) Internationales Anmeldedatum:  
4. August 2004 (04.08.2004)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:  
103 45 730.5 1. Oktober 2003 (01.10.2003) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE];** Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ENDRISS, Axel**  
[DE/DE]; Flamingoweg 68, 70378 Stuttgart (DE).

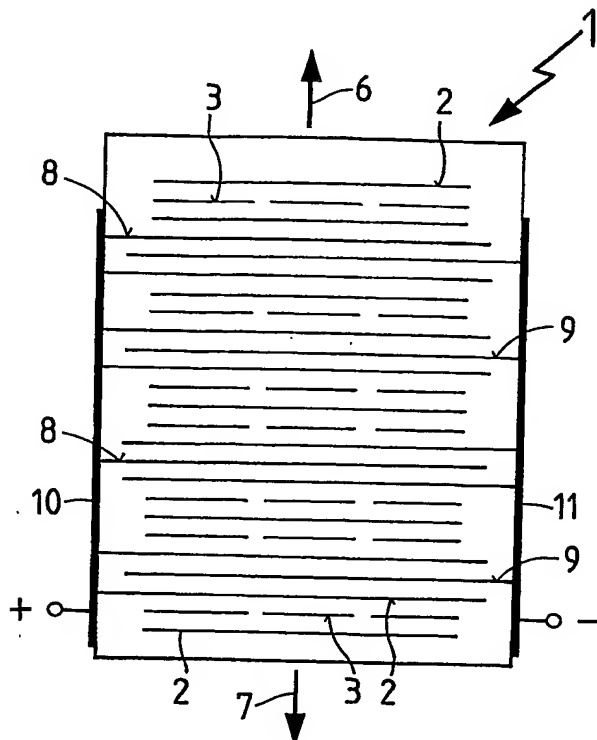
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PIEZO ACTUATOR**

(54) Bezeichnung: **PIEZOAKTOR**



(57) Abstract: Disclosed is a piezo actuator, e.g. for actuating a mechanical component. Said piezo actuator comprises a multilayer structure of piezo layers and inner electrodes (2, 3) which are disposed perpendicular to the effective direction (6, 7) between the piezo layers and can be impinged upon by a voltage via outer electrodes in order to actuate the piezo actuator. An electrical sensor signal that is proportionate to the actuation of the piezo actuator (1) can be picked up via additional outer electrodes (10, 11) on additional piezo layers comprising inner electrodes (8, 9). The piezo layers for the actuator part and the piezo layers for the at least one sensor part are integrated in one component as a piezo actuator (1) such that individual piezo layers for the sensor part are disposed at predefined distances or also next to each other between the piezo layers for the actuator part.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem der Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen senkrecht zur Wirkrichtung (6, 7) zwischen den Piezolagen angeordneten Innenelektroden (2, 3) versehen ist, die zur Betätigung des Piezoaktors über Aussenelektroden mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind. An weiteren Piezolagen mit Innenelektroden (8, 9) ist ein der Betätigung des Piezoaktors (1) proportionales elektrisches Sensorsignal über weitere Aussenelektroden (10, 11) abnehmbar. Die Piezolagen für den Aktorteil und die Piezolagen für das mindestens eine Sensorteil sind in einem Bauteil als Piezoaktor (1) derart integriert, dass einzelne Piezolagen für den Sensorteil in vorgegebenen Abständen oder auch nebeneinander zwischen den Piezolagen für den Aktorteil angeordnet sind.



RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Piezoaktor

### Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, und einen mechanisch mit dem Piezoaktor gekoppelten Sensor, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung an diese piezoelektrischen und elektrostriktiven Keramiken erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt.

Aufgrund des extrem schnellen und genau regelbaren Hubeffektes können solche Piezoaktoren zum Bau von Stellern, beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Hierbei wird die spannungs- oder ladungsgesteuer-

-2-

te Auslenkung dieses Piezoaktors zur Positionierung eines Steuerventils genutzt, das wiederum den Hub einer Düsen-nadel regelt.

Da die erforderlichen elektrischen Feldstärken zur Betätigung des Piezoaktors im Bereich von mehreren kV/mm liegen und in der Regel moderate elektrische Spannungen zur Ansteuerung gewünscht sind, erfolgt der Aufbau dieses Piezoaktors hier in mehreren Schichten von übereinandergestapelten metallisierten Piezokeramiken zu einem sog. Multilayer-Aktor. Hierzu sind jeweils zwischen den Schichten Innenelektroden vorhanden, die z.B. mit einem Druckverfahren aufgebracht werden, und es sind Außenelektroden vorhanden, über die die elektrische Spannung angelegt wird. Ein typisches Verfahren zum Herstellen solcher Schichten besteht in der Foliengießtechnik. Die einzelnen Schichten werden dabei zur Herstellung der Innenelektroden metallisiert und übereinandergestapelt, wobei dann zwischen zwei Schichten mit Innenelektroden unterschiedlicher Polarität sich der Piezoeffekt auswirkt.

Das eigentliche Piezoelement kann dabei entweder aktiv als Piezoaktor, wie zuvor beschrieben, oder passiv als Sensor benutzt werden, bei dem die Spannung abgegriffen wird, welche entsteht, wenn das Piezoelement durch eine mechanische Einwirkung verformt wird.

Eine solche Anordnung ist beispielsweise in der DE 199 60 971 A1 beschrieben. Das abgreifbare Spannungssignal ist dabei als Drucksensor proportional zur einwirkenden Kraft oder als Wegsensor proportional zur einwirkenden Deformation. Um die Längenänderung eines Piezoaktors geregelt einzustellen muss diese erfasst werden, weshalb bislang ein separates Bauteil als Sensorelement vonnöten ist.

-3-

Hierzu kann z.B. ein Dehnungsmessstreifen auf den Piezoaktor aufgeklebt, ein induktiver Wegaufnehmer oder, wie im zuvor genannten Stand der Technik beschrieben, ein weiterer Piezosensor eingesetzt werden.

### Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor ist, wie erwähnt, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich mit zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden aufgebaut und mit einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden, zur Beaufschlagung mit einer elektrischen Spannung, versehen. Zur Bildung eines Sensorteils sind weitere Piezolagen mit Innenelektroden vorhanden, an den ein der Betätigung des Piezoaktors proportionales elektrisches Sensorsignal über weitere Außenelektroden abnehmbar ist. Gemäß der Erfindung sind die Piezolagen für den Aktorteil und die Piezolagen für das mindestens eine Sensorteil in einem Bauteil derart in vorteilhafter Weise integriert, dass einzelne Piezolagen für den Sensorteil in vorgegebenen Abständen zwischen den Piezolagen für den Aktorteil angeordnet sind.

Somit ist in vorteilhafter Weise erreicht, dass das aktive Piezoelement als Piezoaktor und das passive Piezoelement als Sensor in einem Bauteil vereint sind. Von beiden Funktionen, nämlich Weg und/oder Kraft erzeugen und Weg und/oder Kraft messen, kann unabhängig voneinander gleichzeitig Gebrauch gemacht werden. Vorteilhaft ist dabei in erster Linie, dass kein weiteres zusätzliches Bauteil als Sensor benötigt wird, wodurch sich vor allem Kosten- und Bauraumvorteile ergeben.

Darüber hinaus vereinfacht die integrierte Lösung die Montage des Piezoaktors, da der Sensor und der Aktor Bestandteil ein und desselben Bauteils sind und somit eine problembezogene spezifische Montage sowie gegebenenfalls weitere hierzu benötigte Bauteile, z.B. eine geschliffenen Passung im Falle einer Kraftmessdose, entfällt.

Ein solches erfindungsgemäßes Aktor-Sensor-Element bietet insbesondere dort Vorteile wo einerseits eine hohe Weggenauigkeit erforderlich ist, z.B. im  $\mu\text{m}$ - und im Sub- $\mu\text{m}$ -Bereich, und sich aus Bauraumgründen andererseits keine weiteren Bauteile unterbringen lassen.

Besonders vorteilhaft lässt sich mit der Erfindung die Einspritzung von Kraftstoff mittels einer direkten Ventil-Nadelsteuerung für die Anwendung in einem Kraftstoffeinspritzsystem in einem Kraftfahrzeug steuern, wobei hier sogar eine Ventilmadelregelung realisierbar ist.

Bei den nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung kann in vorteilhafter Weise ein Piezoaktor mit einem Piezosensor in einem Bauteil dadurch kombiniert werden, indem einzelne Piezoelemente aufeinander gestapelt und dann getrennt nach Funktion separat angesteuert (Aktor) bzw. ausgelesen (Sensor) werden. Mechanisch in Reihe geschaltete Piezolagen werden dazu elektrisch parallel geschaltet.

Je nach Anwendung kann eine große Anzahl aktiver Piezolagen des Aktorteils einer vergleichsweise geringen Anzahl passiver Piezolagen des Sensorteils gegenüberstehen oder umgekehrt. Da die Absolutbeträge der Dehnung beim Piezoeffekt gering, die damit verbundenen Ladungsmengen hingegen aber groß sind, kann bei einigen bevorzugten Ausführungsbeispielen eine Vielzahl aktiver Elemente wenigen passiven Elementen gegenüberstehen. Die Stapelung kann hierbei in sinnvoller Weise so erfolgen, dass nach einer gewissen Anzahl aktiver Piezolagen, z.B. 20, jeweils ein

Sensorelement, bestehend aus mindestens einer passiven Lage, eingebaut, bzw. kontaktiert wird. Das Sensorelement kann des weiteren in mehrerer einzelne, nebeneinander angeordnete Segmente unterteilt werden, wodurch das Sensorsignal mehrfach abgegriffen werden kann und sich damit die Ausfallsicherheit erhöht.

Ob es sich bei dem Stapelaufbau um zusammengeklebte einzelne Piezolagen oder um im sogenannten Grünzustand gestapelte und dann zu einem Keramikkörper zusammen gesinterte Einzelschichten (Cofiring-Verfahren) handelt ist für die vorteilhafte Funktion der Erfindung unerheblich.

Vorteilhaft ist es, wenn bei einem rechteckigen Querschnitt des Piezoaktors die elektrisch positiven und negativen Außenelektroden des Aktorteils und des Sensorteile an gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors angebracht sind, diese aber um  $90^\circ$  gegeneinander versetzt nach außen treten. Es können aber auch die Außenelektroden sowohl des Aktorteils als auch des Sensorteils zusammen auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors angeordnet werden.

Bei einem anderen vorteilhaften Ausführungsbeispiel sind die Innenelektroden der Sensorteile in den Eckbereich des Piezoaktors geführt und sind dort jeweils mit den Außenelektroden kontaktiert. Bei mehreren Sensorteilen können die jeweiligen Innenelektroden vorteilhaft wechselseitig mit Außenelektroden an unterschiedlichen Flanken des Eckbereichs kontaktiert werden.

Enthält das Bauteil mehrere in Wirkrichtung mechanisch zueinander parallel geschaltete Sensorelemente, so können diese zueinander elektrisch parallel geschaltet werden, indem die jeweiligen Innenelektroden gleicher Polarität gemeinsam auf der Außenseite kontaktiert werden, wodurch die Sensitivität des Sensors verbessert wird.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform sind bei einer Mehrzahl von Sensorteilen, die mit Außenelektroden kontaktiert sind, die jeweiligen Innenelektroden der Sensorteile mit gleicher Polarität in Wirkrichtung des Piezoaktors hintereinander auf einer Seite des Piezoaktors kontaktiert.

### Zeichnung

Vorteilhafte Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Piezoaktors mit integrierten Sensoren werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Schnitt durch einen Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und zwischenliegenden Innenelektroden sowohl für einen Aktor- als auch für einen Sensorteil,

Figur 2 einen Schnitt entsprechend Figur 1, wobei der Piezoaktor hier allerdings in mehrerer aktive Aktor- und passive Sensorteile unterteilt ist,

Figur 3 einen Querschnitt durch den Piezoaktor nach der Figur 1,

Figur 4 einen Querschnitt durch einen Piezoaktor mit zwei nebeneinanderliegenden Sensor-Piezolagen,

Figur 5 einen Querschnitt durch einen Piezoaktor mit drei nebeneinanderliegenden Sensor-Piezolagen,

Figur 6 und Figur 7 einen Querschnitt und eine perspektivische Darstellung eines Piezoaktors mit einem Aktor- und einem Sensorteil, die jeweils an der gleichen Seite des Piezoaktors kontaktiert werden,



-7-

Figur 8 und Figur 9 eine weitere Variante des Ausführungsbeispiels nach den Figuren 6 und 7,

Figur 10 und Figur 11 einen Querschnitt und eine perspektivische Darstellung eines Piezoaktors mit kleineren an den Ecken kontaktierten Innenelektroden für das Sensorteil.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen eines Keramikmaterials, z.B. sogenannte Grünfolien, mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Gleichspannung an Innenelektroden 2 und 3 über hier nicht näher dargestellte, jedoch aus Figur 3 ersichtliche Außenelektroden 4 und 5 eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 in Wirkrichtung 6 bzw. 7 erfolgt. Die Piezolagen mit den Innenelektroden 2 und 3 sind hier über den ganzen Aufbau des Piezoaktors 1 in Wirkrichtung 6 bzw. 7 verteilt und in einer aus dem Stand der Technik bekannten Weise beispielsweise durch Sinterung miteinander verbacken.

Der Längsschnitt durch den Piezoaktor 1 nach der Figur 1 zeigt somit einen Stapelaufbau, bei dem die aktiven Piezolagen mit den jeweiligen Innenelektroden 2 und 3 senkrecht zur Zeichenebene, alternierend einmal ober-, einmal unterhalb, an der Außenseite des Piezoaktors 1 kontaktiert werden. Weiterhin sind passive Piezolagen mit In-

nenelektroden 8 und 9 zwischen diesen aktiven Piezolagen angeordnet, wobei diese Sensor-Piezolagen um  $90^\circ$  versetzt nach links an eine Außenelektrode 10, bzw. nach rechts an eine Außenelektrode 11 geführt und dort kontaktiert sind. Die um  $90^\circ$  versetzte Anordnung von Sensor- und Aktorteil ist dabei nicht notwendigerweise erforderlich.

In analoger Weise erfolgt der Aufbau für den in Figur 2 gezeigten Fall, bei welchem mehrere Aktor- und Sensorteile mechanisch in Reihe und elektrisch parallel geschaltet sind..

Ersichtlich ist dieser Aufbau auch aus der Querschnittsdarstellung nach der Figur 3, aus der zu erkennen ist, dass die Außenelektroden 4 und 5 zur Aktivierung des Piezoaktors 1 auf den zwei in dieser Darstellung oben und unten gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors 1 und die Außenelektroden 10 und 11 für den Sensorteil rechts und links gegenüberliegend auf dem Piezoaktor 1 angebracht sind. Weitere Abwandlungen mit segmentierten Sensorteilen und Alternativen der Kontaktierung der Innenelektroden nach außen durch eine besondere Vergrabung der Innenelektroden 2 und 3 bzw. 8 und 9 im Piezoaktor 1 werden anhand der folgenden Ausführungsbeispiele erläutert.

Eine mögliche Variante hinsichtlich der Gestaltung des Sensorteils zeigt Figur 4; dort sind in Abwandlung zu dem vorherigen Ausführungsbeispiel jeweils zwei Sensorschichten mit entsprechenden Sensor-Piezolagen 12 und 13 nebeneinander in einer Ebene untergebracht, weshalb das Sensorsignal zur Erhöhung der Messsicherheit zweifach anstatt einfach an entsprechenden Außenelektroden abgegriffen werden kann. Durch ein entsprechendes Abändern des Designs des Piezoaktors 1 für die Sensorinnenelektroden

können diese noch weiter unterteilt werden und somit kann auch eine dreifache Segmentierung mit Sensor-Piezolagen 14, 15 und 16 nach Figur 5 in einfacher Weise hergestellt werden.

Durch eine solche Segmentierung der Sensorinnenelektroden oder auch einer sequentiellen Unterteilung in Längsrichtung kann mehr als nur ein Sensorsignal abgegriffen werden. So besteht grundsätzlich die Möglichkeit, diese entweder getrennt zu nutzen oder diese parallel zu schalten zur Verdoppelung, bzw. Vervielfachung des Sensorsignals.

Anhand von zwei weiteren Ausführungsbeispielen nach Figur 6 und 7 sowie nach Figur 8 und 9 sind weitere Varianten mit Kontaktierungsmöglichkeiten für den Aktor- und Sensorteil auf der jeweils gleichen Seite des Piezoaktors 1 gezeigt, wobei die Figuren 7 und 9 jeweils eine perspektivische Darstellung des Ausführungsbeispiels nach den Figuren 6 bzw. 8 zeigen. Da die Funktionen der Bauelemente im wesentlichen denen der Figuren 1 bis 3 entsprechen sind die Bezugszeichen hier analog gewählt. Hierbei ist es auch möglich, dass das Sensorteil, wie mit den Figuren 4 und 5 gezeigt, in mehrere nebeneinanderliegende Teile segmentiert werden kann.

In Figur 10 und der dazugehörigen Figur 11 ist ein Ausführungsbeispiel angegeben, mit dem eine weitere vorteilhafte Kombination von Aktor- und Sensorteil ermöglicht wird, bei welcher das Innenelektroden design dergestalt abgeändert ist, dass in jeder Piezolage eine Aktor- und eine oder mehrere Sensor-Piezolagen vorhanden sind. Die jeweils kleinere Kondensatorfläche 17, 18 bzw. 19, 20 der Sensorinnenelektroden nach den Figuren 10 und 11 steht dabei einer größeren Anzahl an Sensor-Piezolagen

-10-

gegenüber, wodurch auch hier ein akzeptables Sensorausgangssignal erzielt werden kann. Besonders vorteilhaft an dieser Variante ist, dass sich hier ein Ausfall weniger einzelner Schichten, z.B. durch partielle Ablösung der Außenkontaktierung, nur wenig bemerkbar macht. Insbesondere im Falle einer zweifachen Ausführung des Sensorteils besitzt diese Variante eine erhöhte Sicherheit.

Patentansprüche

## 1) Piezoaktor, mit

- einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen senkrecht zur Wirkrichtung (6,7) zwischen den Piezolagen angeordneten Innenelektroden (2,3), die zur Betätigung des Piezoaktors über Außenelektroden mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind und mit
- weiteren Piezolagen mit Innenelektroden (8,9) an den ein der Betätigung des Piezoaktors (1) proportionales elektrisches Sensorsignal über weitere Außenelektroden (10,11;21,22,23,24) abnehmbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Piezolagen für den Aktorteil und die Piezolagen für das mindestens eine Sensorteil in einem Bauteil als Piezoaktor (1) derart integriert sind, dass einzelne Sensor-Piezolagen in vorgebbaren Abständen oder Anordnungen zwischen den Piezolagen für den Aktorteil angeordnet sind.

2) Piezoaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,  
**dass**

-12-

- bei einem rechteckigen Querschnitt des Piezoaktors (1) die elektrisch positiven und negativen Außenelektroden (4,5) des Aktorteils und die elektrisch positiven und negativen Außenelektroden (10,11;21,22,23,24) des Sensorteils jeweils an gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors (1) angebracht sind.

3) Piezoaktor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- bei einer Mehrzahl von Sensorteilen, die jeweils einzeln mit Außenelektroden kontaktiert sind, die jeweiligen Sensor-Piezolagen (12,13;14,15,16) der Sensorteile nebeneinander in einer Ebene quer zur Wirkrichtung (6,7) angeordnet sind und dass
- bei diesen Sensorteilen die Innenelektroden (8,9) mit jeweils gleicher Polarität in Wirkrichtung (6,7) des Piezoaktors (1) parallel nebeneinander auf einer Seite des Piezoaktors (1) mit Außenelektroden kontaktiert sind.

4) Piezoaktor nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Außenelektroden (4,5) sowohl des Aktorteils als auch die Außenelektroden (10,11) des mindestens einen Sensorteils nebeneinander auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors (1) angeordnet sind.

5) Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- sich die Innenelektroden (17,18,19,20) des mindestens einen Sensorteils im Eckbereich befinden und dort jeweils mit Außenelektroden kontaktiert sind.

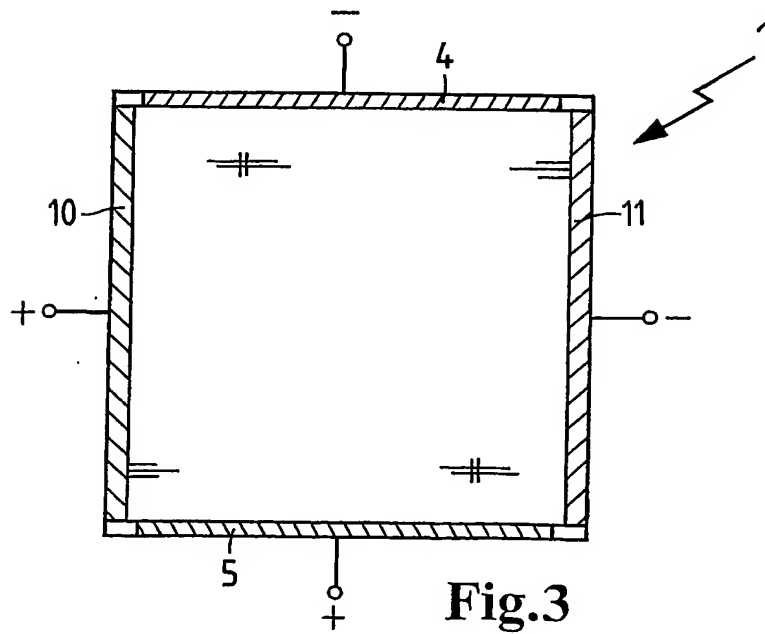
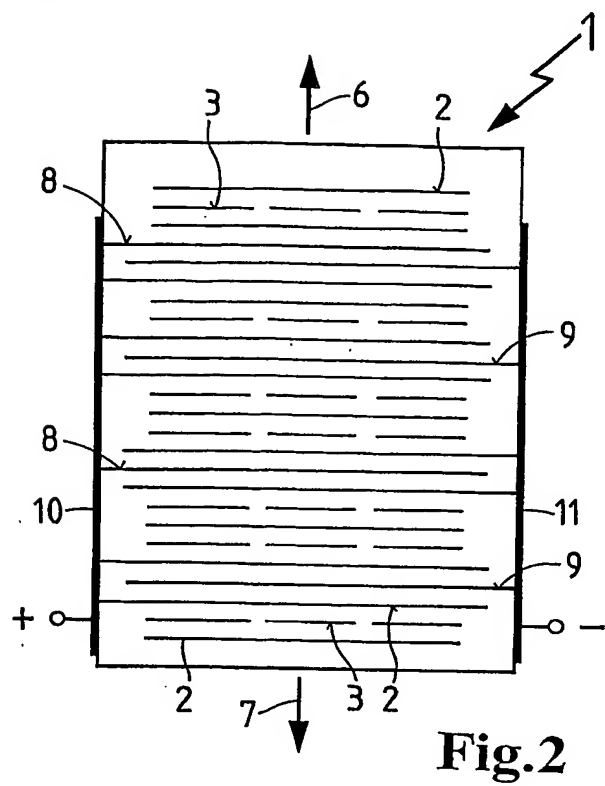
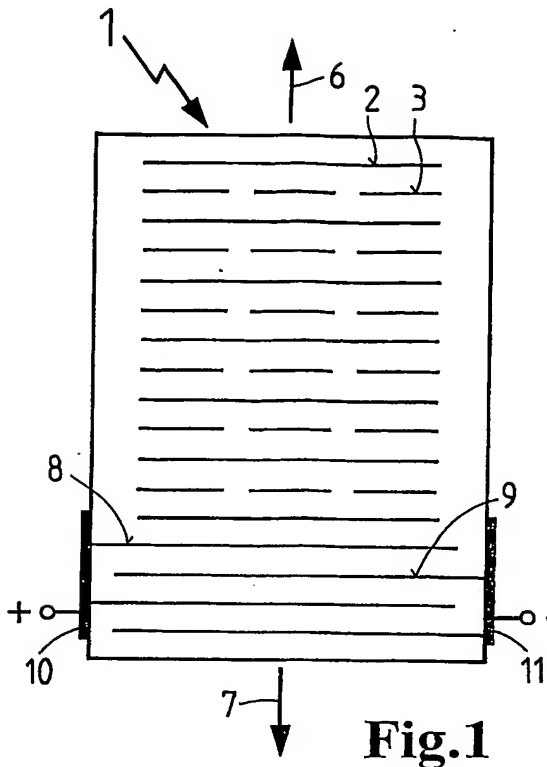
6) Piezoaktor nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- bei mehreren Sensorteilen die jeweiligen Innenelektroden (17,18,19,20) wechselseitig mit Außenelektroden an unterschiedlichen Flanken des Eckbereichs kontaktiert sind.

7) Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

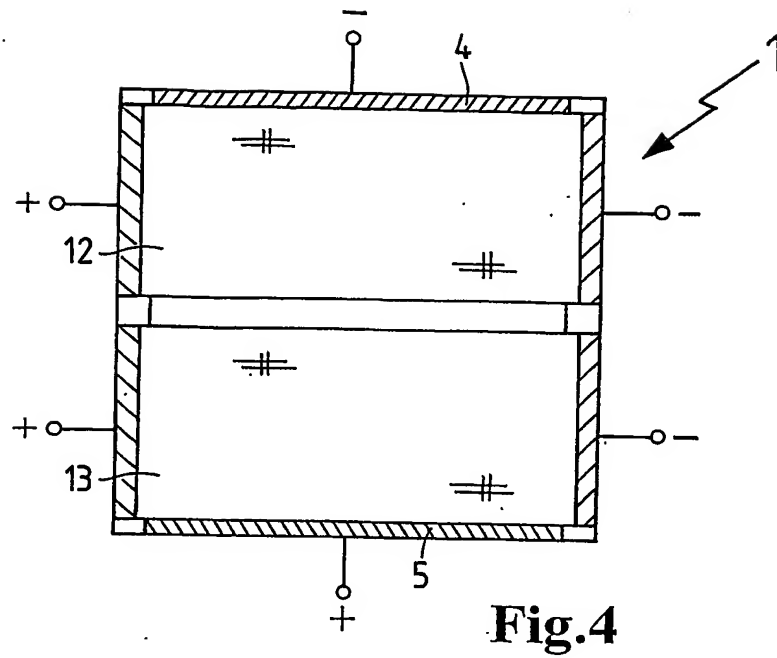
- mehrere mechanisch in Reihe geschaltete Sensorelemente elektrisch parallel geschaltet sind und/oder dass
- mehrere mechanisch in Reihe geschaltete Aktorelemente elektrisch parallel geschaltet sind.

1 / 4

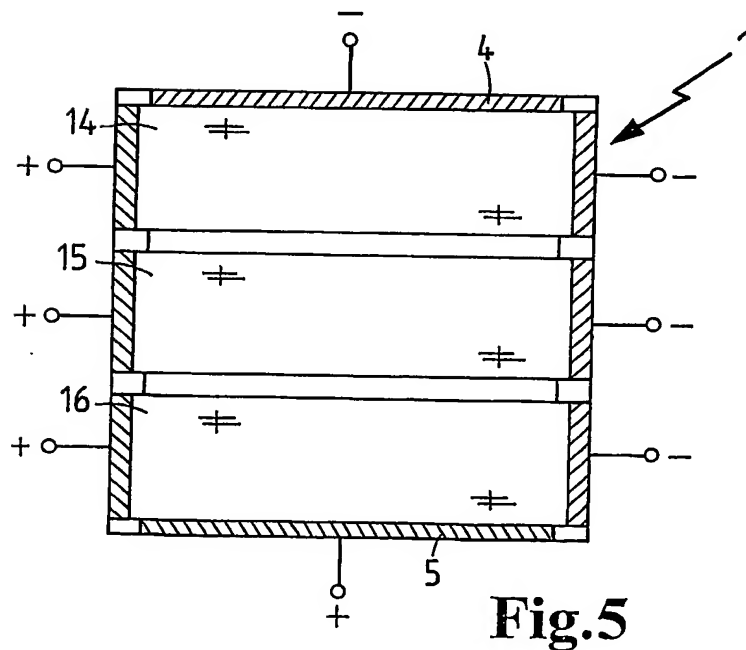




2 / 4

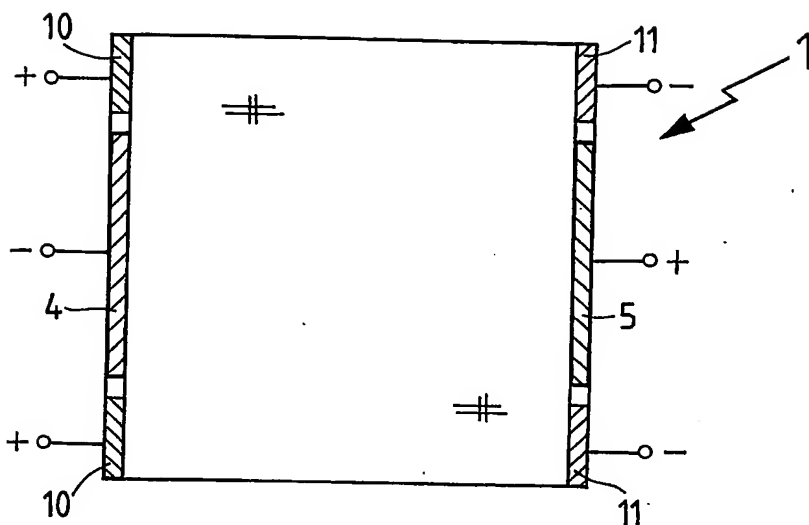


**Fig. 4**

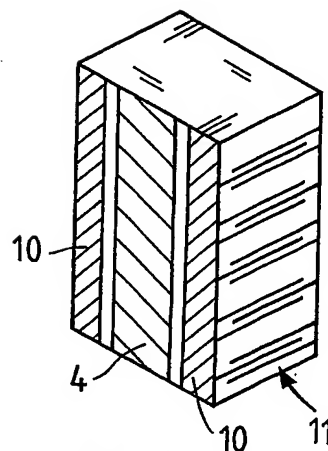


**Fig. 5**

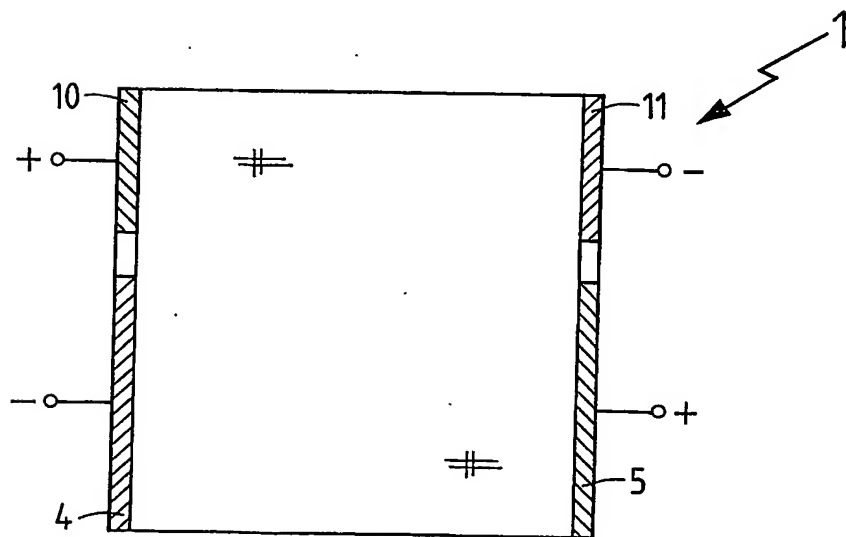
3 / 4



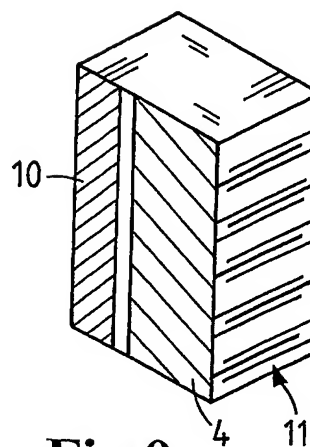
**Fig. 6**



**Fig. 7**

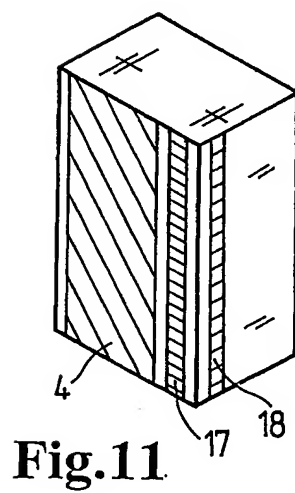
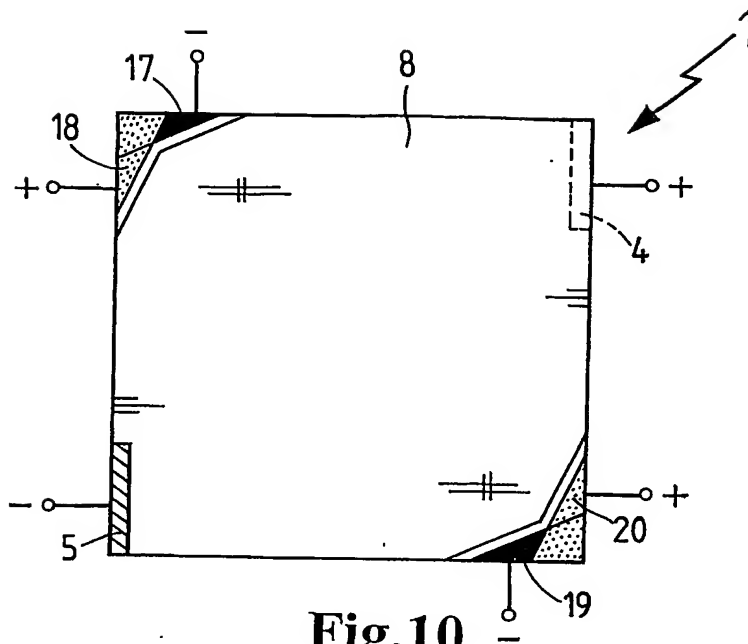


**Fig. 8**



**Fig. 9**

4 / 4



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2004/001742

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L41/083

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 04, 31 March 1998 (1998-03-31) & JP 09 321359 A (KYOCERA CORP), 12 December 1997 (1997-12-12) abstract	1,7
Y	-& JP 09 321359 A (KYOCERA CORP) 12 December 1997 (1997-12-12) paragraph '0015! - paragraph '0020! paragraph '0030! - paragraph '0036! figures	2,4
Y	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 12, 12 December 2002 (2002-12-12) & JP 2002 246666 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 30 August 2002 (2002-08-30) abstract	2,4
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 November 2004

Date of mailing of the international search report

19/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE2004/001742

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	-& JP 2002 246666 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 30 August 2002 (2002-08-30) paragraph '0010! - paragraph '0012! paragraph '0024! - paragraph '0027! paragraph '0036! figures 1-5 -----	
X	WO 03/052260 A (ROBERT BOSCH GMBH; LISKOW UWE) 26 June 2003 (2003-06-26) page 6, line 1 - line 35; figure 2 -----	1
X	US 5 382 865 A (BUTCHER STEVEN J ET AL) 17 January 1995 (1995-01-17) column 2, line 29 - column 3, line 2; figure 1 -----	1
A	US 6 445 111 B2 (WATANABE YOSHIYUKI ET AL) 3 September 2002 (2002-09-03) column 3, line 7 - column 4, line 39; figures 1,2 -----	1,2,7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/001742

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 09321359	A	12-12-1997	NONE	
JP 9321359	A	12-12-1997	NONE	
JP 2002246666	A	30-08-2002	NONE	
WO 03052260	A	26-06-2003	DE 10162250 A1 WO 03052260 A1 EP 1458971 A1	03-07-2003 26-06-2003 22-09-2004
US 5382865	A	17-01-1995	EP 0550552 A1 WO 9206509 A1	14-07-1993 16-04-1992
US 6445111	B2	15-11-2001	JP 2001284673 A US 2001040420 A1	12-10-2001 15-11-2001

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2004/001742

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L41/083

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1998, Nr. 04, 31. März 1998 (1998-03-31) & JP 09 321359 A (KYOCERA CORP), 12. Dezember 1997 (1997-12-12) Zusammenfassung	1,7
Y	-& JP 09 321359 A (KYOCERA CORP) 12. Dezember 1997 (1997-12-12) Absatz '0015! - Absatz '0020! Absatz '0030! - Absatz '0036! Abbildungen	2,4
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2002, Nr. 12, 12. Dezember 2002 (2002-12-12) & JP 2002 246666 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 30. August 2002 (2002-08-30) Zusammenfassung	2,4
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. November 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/11/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
	-& JP 2002 246666 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 30. August 2002 (2002-08-30) Absatz '0010! - Absatz '0012! Absatz '0024! - Absatz '0027! Absatz '0036! Abbildungen 1-5 -----	
X	WO 03/052260 A (ROBERT BOSCH GMBH; LISKOW UWE) 26. Juni 2003 (2003-06-26) Seite 6, Zeile 1 - Zeile 35; Abbildung 2 -----	1
X	US 5 382 865 A (BUTCHER STEVEN J ET AL) 17. Januar 1995 (1995-01-17) Spalte 2, Zeile 29 - Spalte 3, Zeile 2; Abbildung 1 -----	1
A	US 6 445 111 B2 (WATANABE YOSHIYUKI ET AL) 3. September 2002 (2002-09-03) Spalte 3, Zeile 7 - Spalte 4, Zeile 39; Abbildungen 1,2 -----	1,2,7



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001742

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 09321359	A	12-12-1997	KEINE		
JP 9321359	A	12-12-1997	KEINE		
JP 2002246666	A	30-08-2002	KEINE		
WO 03052260	A	26-06-2003	DE	10162250 A1	03-07-2003
			WO	03052260 A1	26-06-2003
			EP	1458971 A1	22-09-2004
US 5382865	A	17-01-1995	EP	0550552 A1	14-07-1993
			WO	9206509 A1	16-04-1992
US 6445111	B2	15-11-2001	JP	2001284673 A	12-10-2001
			US	2001040420 A1	15-11-2001